

III-309 地盤液状化指数 P_L と液状化の激しさの相関性

（財）電力中央研究所 正員 大友敬三
プリンストン大学 正員 篠塚正宣

1. はじめに

液状化危険度分布の予測を行うにあたっては、ある地盤の液状化の激しさを総合的に表現する指標として導入された地盤液状化指数 P_L が広く用いられている。この場合、 P_L 値はその大きさに応じて液状化発生危険度の程度を判定する指標として使われるのが普通であるが、より実用的には P_L 値が地盤内に発生する過剰間隙水圧の大きさや液状化領域の広がりをも表現できることが望ましい。しかしながら、実際のところ P_L 値がこのような液状化の激しさをどの程度反映しているものかは不確定である。そこで今回、多数のサンプル地盤を対象に P_L 値の算定と1次元有効応力解析による地盤内過剰間隙水圧の評価を同時に行い、過剰間隙水圧発生量の面から P_L 値と液状化の激しさの相関性について考察した。

2. 検討方法

P_L 値によっても液状化の激しさが表現できるという仮定の下で、現行でよく用いられている P_L 値の大きさに対応した液状化発生危険度のランクを表-1の第3列に示すような液状化の激しさのランクとして新たに定義した。次に、表-1に示すような軟弱地盤を対象に N 値のみが確率変数であると仮定し、モンテカルロ・シミュレーションの応用により20ケースのサンプル地盤を発生させた。シミュレーションにあたって必要となる確率分布特性は表-2に示した各層の N 値を平均値として変動係数が0.20の正規分布を仮定した。

サンプル地盤内に発生する過剰間隙水圧の評価にあたっては、プリンストン大学で開発された1次元有効応力解析コード DYNA1D¹⁾を用いた。本解析コードに採用されている構成方程式のパラメータは室内土質試験で得られるせん断応力-せん断ひずみ曲線に基づいて決定することが望ましいが、ここでは、このようなデータは得られていない。そこで、解析に必要なパラメータ、初期せん断剛性、最大せん断強度、せん断破壊ひずみなどは N 値をベースにした経験式を利用して設定した。解析に用いた地震波は、Pacoimaダムにおける観測波（マグニチュード6.6、継続時間12秒）とEl Centro波（マグニチュード7.1、継続時間20秒）の2つである。これらの地震波の最大加速度を最小0.02G、最大0.25Gの15とおりに調整して深さ18mの地点から入力し、サンプル地盤内に発生する過剰間隙水圧を評価した。

P_L 値は、Seedらによって提案された液状化の簡易判定法によって算定される液状化安全率 F_L に基づいて求めた。Seedらの方法では、表-3に示すように地震波に含まれる等価せん断応力（ $0.65\tau_{max}$ ）の波数に応じて動的せん断強度を補正係

表-1 P_L 値に基づく液状化の危険度と激しさ

P_L 値	液状化の危険度	液状化の激しさ
$P_L = 0$	かなり低い	ほとんどない
$0 < P_L \leq 5$	低い	軽微
$5 < P_L \leq 15$	高い	中程度
$15 < P_L$	極めて高い	甚大

表-2 地盤条件

深さ Z (m)	層番号	N 値	単位体積重量 γ (tf/m ³)	地下水位
1.5	1	2	1.5	- 4.5 m
3.0	2	2	1.6	
4.5	3	2	1.7	
6.0	4	4	1.8	
7.5	5	6	1.9	
9.0	6	7	1.9	
10.5	7	7	2.0	
12.0	8	18	2.0	
13.5	9	20	2.0	
15.0	10	50	2.0	
16.5	11	50	2.0	
18.0	12	32	2.0	

表-3 地震動のマグニチュードに対する補正係数

マグニチュード M	$0.65\tau_{max}$ とした 場合の波数	補正係数 C_M
$M \leq 5.6$	2 - 3	1.50
$5.6 < M \leq 6.5$	5 - 6	1.32
$6.5 < M \leq 7.0$	10	1.13
$7.0 < M \leq 8.0$	15	1.00
$8.0 < M$	26	0.89

数 CM によって補正する必要があるが、Pacoima 波、El Centro 波に含まれる等価せん断応力の波数はそれぞれ、4.7、7.1 であることがわかっている。Pacoima 波を想定した P_L 値に対しては、 $CM = 1.32$ 、一方、El Centro 波を想定した場合は $CM = 1.13$ と見積って、有効応力解析と同様な最大加速度を作用させてサンプル地盤の P_L 値を算定した。

3. P_L 値と Q 値の相関関係

本研究では、有効応力解析によって得られる地震動終了時の各層の過剰間隙水圧 u と初期有効上載圧 σ'_v の比を深さ方向に沿って積分して、以下に示す Q 値を導入した。

$$Q = \frac{1}{18} \int_{-18}^0 \frac{u(t_b, Z)}{\sigma'_v(Z)} dz$$

ここで、 t_b (sec.) は地震波の継続時間であり、 Z (m) は深さ方向を正とする。積分区間 ($0 \sim -18$ m) は表-2 の地盤条件と対応したものであり、積分分子の外側の $1/18$ は積分値を最大値 1.0 に正規化するための定数である。

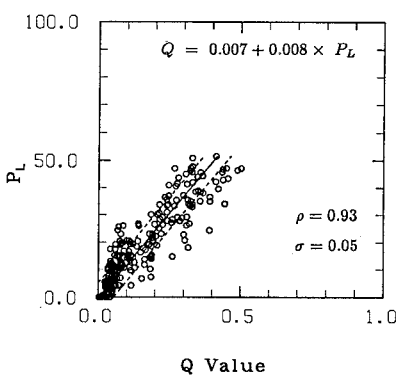
Q 値を導入することにより、両者の地震波タイプに対して合計300組の P_L 値と Q 値のペアが得られ、これらをプロットすると図-1、2 のようになる。さらに、これらに対する回帰式を同図中に実線で、回帰直線回りの Q 値の標準偏差 σ の範囲を破線でそれぞれ示してあるが、とりわけ、相関係数 ρ が 1.0 に近いことから判断すれば、 P_L 値と Q 値は両者の地震波タイプのいずれに対しても非常に強い正の相関を有して図-2 P_L 値と Q 値の相関 (El Centro 波タイプ) いることがわかる。なお、表-1 で設定した P_L 値による液状化の激しさのランクは Q 値によって表現することも可能であり、それらは表-4、5 のようにまとめられる。

4. むすび

P_L 値と Q 値の間に強い相関関係が存在し、地盤液状化指標 P_L が液状化の激しさを表現する上でも実用的な指標となり得ることを示した。筆者らは別途、表-1 で示した定義に従い、 P_L 値によって液状化の激しさの fragility 曲線を作成しているが、この有効性は今回の検討結果により同時に検証されている²⁾。なお、本研究は米国国立地震工学研究所より一部補助 (No. 88-3007) を受けて実施された。

参考文献

1. Prevost, J.H., "DYNAID : A Computer Program for Nonlinear Seismic Site Response Analysis", Technical Documentation, Princeton University, 1988.
2. Ohtomo, K. and Shinozuka, M., "Development and Validation of Fragility Curves for Liquefaction", Proc. of the 4th National Conference on Earthquake Engineering, 1990.



(1) 図-1 P_L 値と Q 値の相関 (Pacoima 波タイプ)

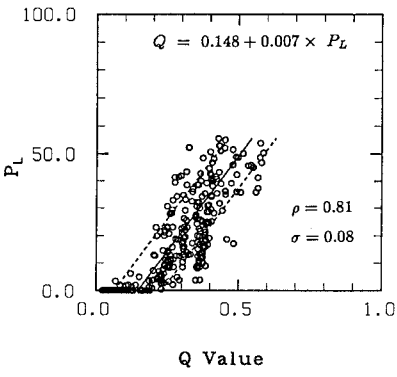


図-2 P_L 値と Q 値の相関 (El Centro 波タイプ)

表-4 液状化の激しさの指標 (Pacoima 波タイプ)

液状化の激しさ	P_L 値	Q 値
ほとんどない	$P_L = 0$	$Q \leq 0.007$
軽 微	$0 < P_L \leq 5$	$0.007 < Q \leq 0.046$
中 程 度	$5 < P_L \leq 15$	$0.046 < Q \leq 0.126$
甚 大	$15 < P_L$	$0.126 < Q$

表-5 液状化の激しさの指標 (El Centro 波タイプ)

液状化の激しさ	P_L 値	Q 値
ほとんどない	$P_L = 0$	$Q \leq 0.148$
軽 微	$0 < P_L \leq 5$	$0.148 < Q \leq 0.184$
中 程 度	$5 < P_L \leq 15$	$0.184 < Q \leq 0.285$
甚 大	$15 < P_L$	$0.285 < Q$